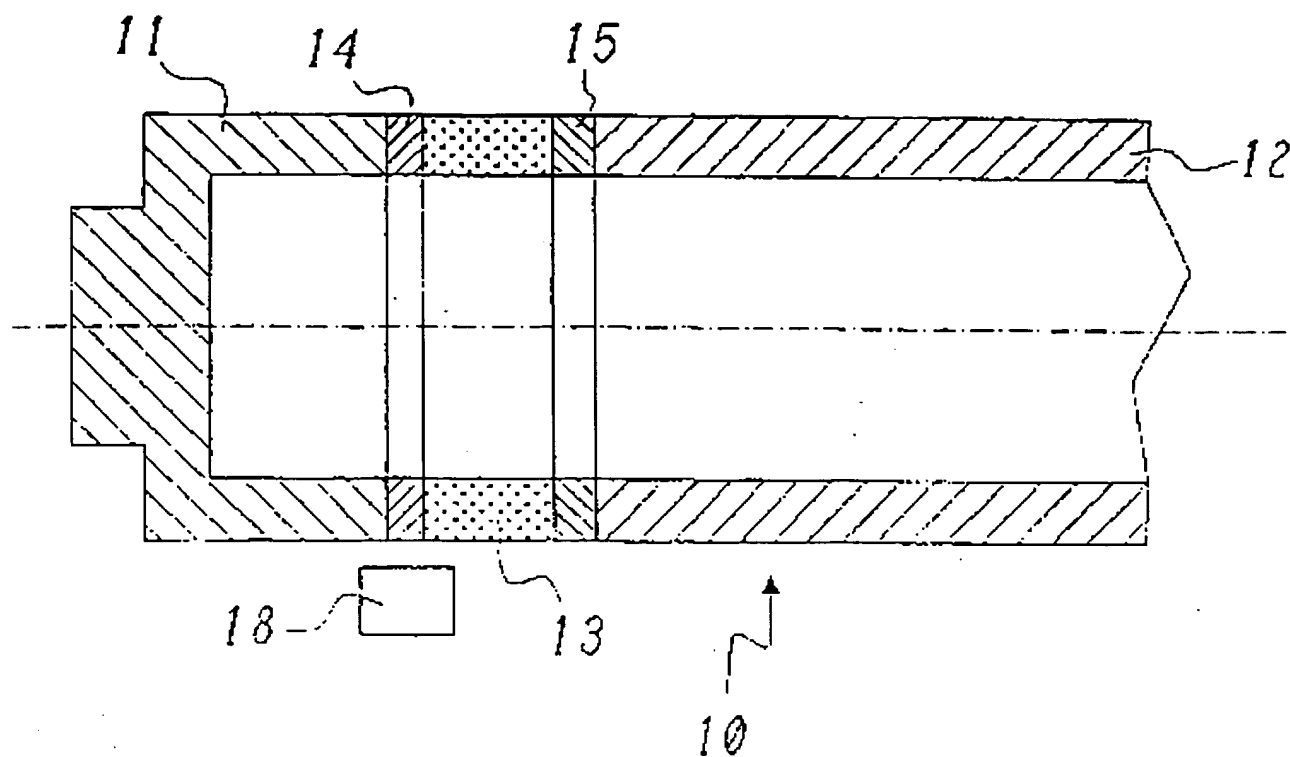


-AN: PAT 2002-734630
TI: Rotor for turbo machine e.g. gas turbine etc. consists of one section of high creep resistance material and one section of lower creep resistance material, connected via powder-metallurgical steel layer
PN: EP1243754-A2
PD: 25.09.2002
AB: NOVELTY - The rotor (10) has a first and a second preferably. disc-shaped rotor section (12,11), welded together. For this purpose, a powder-metallurgic transitional section (13) of a layer of steel, is formed between the rotor sections, and is welded to one section on one side. On this side, it is of the same consistency as that rotor section. The second section is subjected to lower operating temperatures, and consists of a material of lower creep resistance, e.g. steel. The first section is subjected to higher temperatures, and is of powder metallurgical construction, or is welded. It is of a material of higher creep resistance, e.g. nickel alloy.; USE - Gas turbine and similar. ADVANTAGE - Is suitable for use with high temperatures without cooling, consists of welded components of materials with different creep resistance. DESCRIPTION OF DRAWING(S) - Figure shows weld between transitional section and rotor section. rotor 10 rotor sections 11,12 transitional layer 13
PA: (ALLM) ABB ALSTOM POWER SCHWEIZ AG;
(ALSM) ALSTOM SWITZERLAND LTD; (ALSM) ALSTOM TECHNOLOGY LTD;
(STAU/) STAUBLI M; (WETT/) WETTSTEIN H;
IN: STAUBLI M; WETTSTEIN H; E; WETTSTEIN H;
FA: EP1243754-A2 25.09.2002; US6767649-B2 27.07.2004;
DE10114612-A1 26.09.2002; US2002136659-A1 26.09.2002;
JP2002371801-A 26.12.2002;
CO: AL; AT; BE; CH; CY; DE; DK; EP; ES; FI; FR; GB; GR; IE; IT; JP; LI; LT; LU; LV; MC; MK; NL; PT; RO; SE; SI; TR; US;
DR: AL; AT; BE; CH; CY; DE; DK; ES; FI; FR; GB; GR; IE; IT; LI; LT; LU; LV; MC; MK; NL; PT; RO; SE; SI; TR;
IC: B22F-003/00; B22F-005/04; B22F-007/04; B23K-009/00; B23K-009/23; B23K-033/00; B23P-013/00; F01D-005/02; F01D-005/06; F01D-005/28; F02C-007/00; F04D-029/28; F04D-029/32; G01N-023/04;
DC: P53; P55; Q51; Q52; Q56;
FN: 2002734630.gif
PR: DE1014612 23.03.2001;
FP: 25.09.2002
UP: 02.08.2004

inis Page Blank (uspto)



BEST AVAILABLE COPY

THIS PAGE BLANK (USPTO)



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 101 14 612 A 1**

⑤1 Int. Cl.⁷:
F 01 D 5/06
B 23 P 13/00
B 22 F 3/00

②1 Aktenzeichen: 101 14 612.4
②2 Anmeldetag: 23. 3. 2001
④3 Offenlegungstag: 26. 9. 2002

DE 101 14 612 A 1

⑦1 Anmelder:
ALSTOM (Switzerland) Ltd., Baden, CH

⑦4 Vertreter:
Rösler, U., Dipl.-Phys.Univ., Pat.-Anw., 81241
München

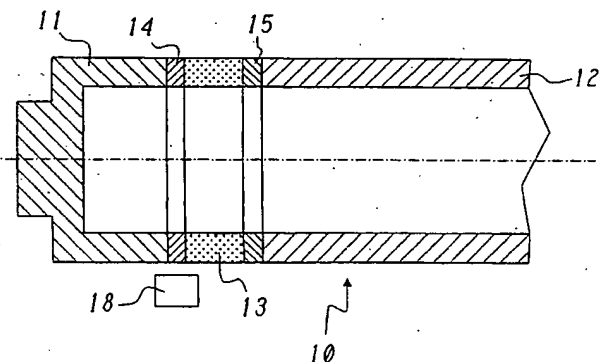
⑦2 Erfinder:
Staubli, Markus, Dottikon, CH; Wettstein, Hans E.,
Dr., Fislisbach, CH

⑤6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
zu ziehende Druckschriften:
DE 32 41 926 C2
DE 199 44 522 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤4 Rotor für eine Turbomaschine sowie Verfahren zur Herstellung eines solchen Rotors

⑤7 Ein Rotor (10) für eine Turbomaschine umfasst wenigstens einen ersten, vorzugsweise scheibenförmigen, Rotorabschnitt (12), welcher hohen Betriebstemperaturen ausgesetzt ist und aus einem besonders kriechfesten Werkstoff, insbesondere einer Nickelbasislegierung, besteht, sowie wenigstens einen zweiten, vorzugsweise scheibenförmigen, Rotorabschnitt (11), welcher reduzierten Betriebstemperaturen ausgesetzt ist und aus einem weniger kriechfesten Werkstoff, insbesondere Stahl, besteht, wobei der erste und der zweite Rotorabschnitt (11, 12) schweißtechnisch miteinander verbunden sind. Bei einem solchen Rotor wird eine rissfreie Schweißverbindung dadurch erreicht, dass zur Verbindung der beiden Rotorabschnitte (11, 12) zwischen den beiden Rotorabschnitten (11, 12) ein pulvermetallurgisch erzeugter Übergangsbereich (13) angeordnet ist, welcher zumindest auf einer Seite mit einem der beiden Rotorabschnitte (11, 12) verschweißt ist und auf dieser Seite dieselbe Zusammensetzung aufweist wie der Rotorabschnitt, mit welchem er verschweißt ist.



DE 101 14 612 A 1

TECHNISCHES GEBIET

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf das Gebiet der Turbomaschinentechnik. Sie betrifft einen Rotor für eine Turbomaschine gemäss dem Oberbegriff des Anspruchs 1 sowie ein Verfahren zur Herstellung eines solchen Rotors.

STAND DER TECHNIK

[0002] Der Wirkungsgrad einer rotierenden thermischen Maschine, z. B. einer Gasturbine oder dgl., kann durch eine Heraufsetzung der Betriebstemperatur, z. B. auf über 600°C, deutlich verbessert werden. Die Rotoren für den Einsatz bei Temperaturen oberhalb von z. B. 600°C sollten dabei aus besonders kriechfesten Werkstoffen hergestellt werden, damit auf eine aufwendige Rotorkühlung verzichtet werden kann. Dies gilt generell für Rotoren von Gasturbinen, Dampfturbinen, Turboladern, Kompressoren und Pumpen. Mit höher werdender Betriebstemperatur ist es notwendig, von niedriglegierten Stählen auf höherlegierte martensitische Stähle, auf austenitische Stähle und auf Nickelbasislegierungen zu wechseln, damit eine genügende Kriechfestigkeit immer gewährleistet ist. Nickelbasislegierungen sind allerdings erheblich teurer als niedriglegierte Stähle. Um die Kosten bei einem Rotor zu minimieren, sollte daher nur der Hochtemperaturbereich bzw. -abschnitt des Rotors aus den besonders kriechfesten Werkstoffen bestehen, während die übrigen Bereiche (z. B. die Rotorenden) aus einem geeigneten Stahl hergestellt sein können.

[0003] Die Herstellung eines solchen Rotors, der üblicherweise aus mehreren scheiben- oder trommelförmigen Segmenten zusammengesetzt ist, erfordert entsprechend eine Verbindung zwischen unterschiedlichen Werkstoffen. Die Verbindung kann durch Verschrauben oder Verschweissen der Teile hergestellt werden. Eine Schraubverbindung ist übermässigen mechanischen Spannungen ausgesetzt. Sie ist zwar bei kleineren Turbinen schon eingesetzt worden; für grosse Turbinen liegen aber keine Erfahrungen vor.

[0004] Wie bereits erwähnt, werden beim Verschweissen der Teile des Rotors nicht nur Schweissverbindungen zwischen zwei Elementen aus dem gleichen Werkstoff benötigt, sondern auch zwischen unterschiedlichen Werkstoffen. Während die Schweissverbindungen zwischen Elementen aus dem gleichen Material eher unkritisch sind, ergeben sich beim Verschweissen von Elementen aus unterschiedlichen Werkstoffen Probleme: Die Erstarrung des Schweissbades führt unter Umständen zu Rissbildung.

[0005] In der US-A-4,333,670 ist zur Verbindung von rohrförmigen Teilen aus einem niedrig legierten Kohlenstoffstahl und einer Hochtemperaturlegierung mit hohem Chromanteil der Einsatz einer Übergangsverbindung ("transition joint") vorgeschlagen worden, die aus einer Aneinanderreihung einer Vielzahl von miteinander verschweissten Übergangsteilen besteht, die jeweils eine eigene Materialzusammensetzung aufweisen und eine schrittweise Anpassung der beiden zu verbindenden rohrförmigen Teile aneinander ermöglichen. Die Herstellung einer solchen aus vielen verschweissten Teilen bestehenden Übergangsverbindung ist jedoch – insbesondere bei grossen Dimensionen – ausserordentlich aufwendig. Darüber hinaus beansprucht eine solche Übergangsverbindung einen erheblichen Platz zwischen den zu verbindenden Teilen, der beim Rotor nicht zur Verfügung steht.

[0006] In der US-A-4,743,165 wird bei der Herstellung eines Rotors einer Gasturbine, bei dem Scheiben aus einer Su-

perlegierung (IN100) mit Dichtungsteilen aus einer anderen Legierung (IN718) verschweisst werden, ein spezielles Schweissverfahren ("inertia welding") eingesetzt. Eine Verbindung von Teilen aus einer Superlegierung und aus einem Stahl ist nicht vorgesehen.

[0007] In der US-A-4,486,385 schliesslich wird vorgeschlagen, zur Verbindung von ringförmigen Elementen, die aus unterschiedlichen Stählen bestehen, durch Schweissen ein rohrförmiges Übergangsstück einzusetzen, das durch pulvermetallurgische Methoden hergestellt wird und eine über die Länge variierende Zusammensetzung aufweist, die an den Enden jeweils mit der Zusammensetzung der zu verbindenden ringförmigen Elemente übereinstimmt. Eine Schweissverbindung zwischen Stahlteilen und Teilen aus einer Nickelbasislegierung ist nicht vorgesehen.

DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

[0008] Es ist Aufgabe der Erfindung, einen Rotor für eine Turbomaschine zu schaffen, der auch ohne aufwendige Kühlung für erhöhte Betriebstemperaturen geeignet ist und ohne Einbussen an mechanischer Festigkeit aus Teilen zusammengesetzt ist, die aus besonders kriechfesten und weniger kriechfesten Werkstoffen bestehen, sowie ein Verfahren zur Herstellung eines solchen Rotors anzugeben.

[0009] Die Aufgabe wird durch die Gesamtheit der Merkmale der Ansprüche 1 und 10 gelöst. Der Kern der Erfindung besteht darin, für die Schweissverbindung zwischen zwei Teilen bzw. Abschnitten, von denen der eine aus einem weniger kriechfesten Werkstoff und der andere aus einem besonders kriechfesten Werkstoff besteht, einen Übergangsbereich vorzusehen, der pulvermetallurgisch erzeugt worden ist und an der Seite, an welcher der Übergangsbereich mit einem der Teile bzw. Abschnitte verschweisst ist, genau die Zusammensetzung des angrenzenden Teiles bzw. Abschnittes aufweist. Dadurch, dass der Übergangsbereich von der Zusammensetzung her an der jeweiligen Seite der Schweissverbindung an das angeschweisste Teil angepasst ist, ergibt sich eine sichere und mechanisch hoch belastbare Schweissverbindung. Der Übergangsbereich kann dabei platzsparend und vergleichsweise einfach hergestellt werden.

[0010] Gemäss einer ersten Ausführungsform der Erfindung ist der Übergangsbereich nur auf einer Seite mit dem einen Teil verschweisst und auf der anderen Seite mit dem anderen Teil der Verbindung pulvermetallurgisch verbunden.

[0011] Insbesondere ist der Übergangsbereich eine Schicht aus einem weniger kriechfesten Werkstoff, welche in der Zusammensetzung dem zweiten Rotorabschnitt entspricht. Die Schicht ist mit dem ersten Rotorabschnitt pulvermetallurgisch verbunden und mit dem zweiten Rotorabschnitt verschweisst. Dabei kann wahlweise der erste Rotorabschnitt ebenfalls pulvermetallurgisch erzeugt oder geschmiedet sein.

[0012] Es kann aber auch der Übergangsbereich eine Schicht aus einem besonders kriechfesten Werkstoff sein, welche in der Zusammensetzung dem ersten Rotorabschnitt entspricht. Die Schicht ist dann mit dem zweiten Rotorabschnitt pulvermetallurgisch verbunden und mit dem ersten Rotorabschnitt verschweisst.

[0013] Gemäss einer zweiten bevorzugten Ausführungsform wird der Übergangsbereich durch ein separates Übergangsstück gebildet, welches mit beiden Rotorabschnitten verschweisst ist, wobei die Zusammensetzung des Übergangsstückes ortsabhängig ist und auf der dem ersten Rotorabschnitt zugewandten Seite der Zusammensetzung des ersten Rotorabschnitts und auf der dem zweiten Rotorab-

schnitt zugewandten Seite der Zusammensetzung des zweiten Rotorabschnitts entspricht.

[0014] Insbesondere kann das Übergangsstück die Form eines Ringes oder einer ungelochten oder gelochten Scheibe aufweisen.

[0015] Der weniger kriechfeste Werkstoff kann dabei Stahl, der besonders kriechfeste Werkstoff eine Nickelbasislegierung sein.

[0016] Eine erste bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemässen Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass der Übergangsbereich eine Schicht aus einem dem zweiten Rotorabschnitt entsprechenden, weniger kriechfesten Werkstoff ist, und dass die Schicht und der erste Rotorabschnitt gemeinsam pulvermetallurgisch hergestellt werden.

[0017] Eine zweite bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemässen Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass der Übergangsbereich eine Schicht aus einem dem zweiten Rotorabschnitt entsprechenden, weniger kriechfesten Werkstoff ist, und dass die Schicht auf den ersten Rotorabschnitt pulvermetallurgisch aufgebracht wird.

[0018] Eine dritte bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemässen Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass der Übergangsbereich eine Schicht aus einem dem ersten Rotorabschnitt entsprechenden, besonders kriechfesten Werkstoff ist, und dass die Schicht und der zweite Rotorabschnitt gemeinsam pulvermetallurgisch hergestellt werden.

[0019] Eine vierte bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemässen Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass der Übergangsbereich eine Schicht aus einem dem ersten Rotorabschnitt entsprechenden, besonders kriechfesten Werkstoff ist, und dass die Schicht auf den zweiten Rotorabschnitt pulvermetallurgisch aufgebracht wird.

[0020] Eine weitere Ausführungsform des Verfahrens nach der Erfindung zeichnet sich dadurch aus, dass zur Bildung des Übergangsbereiches zunächst pulvermetallurgisch ein separates Übergangsstück hergestellt wird, welches eine ortsabhängige Zusammensetzung aufweist, derart, dass die Zusammensetzung auf der dem ersten Rotorabschnitt zugewandten Seite der Zusammensetzung des ersten Rotorabschnitts und auf der dem zweiten Rotorabschnitt zugewandten Seite der Zusammensetzung des zweiten Rotorabschnitts entspricht, und dass das Übergangsstück anschliessend mit den beiden Rotorabschnitten verschweisst wird.

[0021] Dabei ist es für die Prüfung der Schweissnähte von Vorteil, wenn das Übergangsstück zunächst mit dem ersten Rotorabschnitt verschweisst wird, und die zugehörige Schweissnaht vor dem Verschweissen des Übergangsstückes mit dem zweiten Rotorabschnitt zerstörungsfrei, insbesondere mittels Röntgenstrahlen, geprüft wird.

[0022] Weitere Ausführungsformen ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

KURZE ERLÄUTERUNG DER FIGUREN

[0023] Die Erfindung soll nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen im Zusammenhang mit der Zeichnung näher erläutert werden. Es zeigen

[0024] Fig. 1 in einer schematischen Darstellung den Längsschnitt durch ein pulvermetallurgisch erzeugtes Übergangsstück für einen Rotor nach der Erfindung vor dem isostatischen Heisspressen;

[0025] Fig. 2 das Übergangsstück aus Fig. 1 nach dem isostatischen Heisspressen sowie einen beispielhaften zugehörigen ortsabhängigen Verlauf der Zusammensetzung;

[0026] Fig. 3 und 4 das Verschweissen des Übergangsstückes aus Fig. 2 mit dem hochtemperaturfesten Rotorabschnitt;

[0027] Fig. 5 die zerstörungsfreie Prüfung der gemäss Fig. 4 hergestellten Schweissnaht mittels Röntgenaufnahmen;

[0028] Fig. 6 das Verschweissen des Übergangsstückes mit dem aus dem weniger kriechfesten Werkstoff bestehenden Rotorabschnitt (z. B. Rotorende) und die zerstörungsfreie Prüfung der Schweissnaht mittels Ultraschall;

[0029] Fig. 7 ein alternatives Verfahren mit einem Übergangsbereich in Form einer Schicht, die aus Pulver eines weniger kriechfesten Werkstoffes pulvermetallurgisch mit dem Rotorabschnitt verbunden ist, der aus dem besonders kriechfesten Werkstoff besteht; und

[0030] Fig. 8 ein weiteres alternatives Verfahren mit einem Übergangsbereich in Form einer Schicht, die aus dem Pulver des besonders kriechfesten Werkstoffes pulvermetallurgisch mit dem Rotorabschnitt verbunden ist, der aus dem weniger kriechfesten Werkstoff besteht.

WEGE ZUR AUSFÜHRUNG DER ERFINDUNG

[0031] Die Idee der Erfindung besteht darin, für die Schweissverbindung zwischen den aus dem weniger kriechfesten Werkstoff, z. B. Stahl, bestehenden Teilen und den aus dem besonders kriechfesten Werkstoff, z. B. einer Nickelbasislegierung, bestehenden Teilen ein Übergangsstück einzusetzen, in dem die Materialzusammensetzung von der des weniger kriechfesten Werkstoffes bzw. Stahles am einen Ende des Übergangsstückes übergeht in die des besonders kriechfesten Werkstoffes bzw. der Nickelbasislegierung am anderen Ende des Übergangsstückes. Das Übergangsstück wird pulvermetallurgisch hergestellt.

[0032] Für einen in Fig. 6 dargestellten Rotor 10 einer Gasturbine, bei dem ein hochtemperaturfester erster Rotorabschnitt 12 aus einer Nickelbasislegierung mit einem weniger hohen Temperaturen ausgesetzten zweiten Rotorabschnitt 11 schweisstechnisch verbunden ist, wird ein scheiben- oder trommelförmiges Übergangsstück 13 benötigt. Das Übergangsstück 13 ist auf der linken Seite über eine erste Schweissnaht 14 mit dem Rotorabschnitt 11 und auf der rechten Seite über eine zweite Schweissnaht 15 mit dem Rotorabschnitt 12 verschweisst. Auf die gleiche Art und Weise können natürlich auch Rotoren von Dampfturbinen, Turboladern, Kompressoren oder Pumpen aufgebaut werden.

[0033] Zur Herstellung des Übergangsstückes 13 wird zunächst gemäss Fig. 1 eine Vorform 13' erzeugt, in der ein Pulver aus dem Stahl und ein Pulver aus der Nickelbasislegierung so miteinander vermischt werden, dass das dem Rotorabschnitt 11 zugewandte Ende aus 100% Stahlpulver und das dem Rotorabschnitt 12 zugewandte Ende aus 100% Pulver der Nickelbasislegierung besteht, während sich zwischen den beiden Ende die Anteile an Stahlpulver und dem Pulver der Nickelbasislegierung stetig ändern. Es ist wichtig, dass das Übergangsstück 13 ohne Aufschmelzen hergestellt wird, um die Bildung von Rissen beim Erstarren zu vermeiden. Die axiale Länge des Übergangsstückes 13 sollte klein gehalten werden, damit der Rotor 10 nicht unnötig verlängert wird, jedoch nicht so kurz, dass sich die Wärmeinflusszonen der beiden Schweissungen überlappen. In der Übergangszone sollten keine Schaufelbefestigungen liegen. Vielmehr kann an dieser Stelle eine Leitschaufel im gegenüberliegenden Gehäuseteil befestigt sein.

[0034] Aus der Vorform 13' wird durch isostatisches Heisspressen (HIP) bei hohen Temperaturen und Drücken und eine anschliessende Wärmebehandlung das 100% verdichtete Übergangsstück 13 gemäss Fig. 2 erzeugt. Im Übergangsstück 13 fällt der Anteil an Stahl dabei gemäss Kurve 20 von links nach rechts z. B. linear von 100% auf 0%, während der Anteil an Nickelbasislegierung gemäss Kurve 19

entsprechend linear von 0% auf 100% steigt.

[0035] Das fertige Übergangsstück 13 wird nun gemäss Fig. 3 und 4 mit dem rechten Ende, das aus 100% Nickelbasislegierung besteht, mit dem Rotorabschnitt 12 aus der Nickelbasislegierung verschweisst, wobei eine entsprechende Schweisselectrode verwendet wird. Hierdurch wird eine rissfreie Schweissnaht 15 ermöglicht.

[0036] Es ist wichtig, anzumerken, dass die Schweissverbindung der Nickelbasislegierungen, d. h., die Schweissnaht 15, wegen der Schalldämpfung im Material nicht befriedigend mittels Ultraschall zerstörungsfrei geprüft werden kann. Die Prüfung muss daher durch Röntgenaufnahmen erfolgen, die den Zugang zu beiden Seiten (Innen- und Aus-
5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
55
60
65
70
75
80
85
90
95
100
105
110
115
120
125
130
135
140
145
150
155
160
165
170
175
180
185
190
195
200
205
210
215
220
225
230
235
240
245
250
255
260
265
270
275
280
285
290
295
300
305
310
315
320
325
330
335
340
345
350
355
360
365
370
375
380
385
390
395
400
405
410
415
420
425
430
435
440
445
450
455
460
465
470
475
480
485
490
495
500
505
510
515
520
525
530
535
540
545
550
555
560
565
570
575
580
585
590
595
600
605
610
615
620
625
630
635
640
645
650
655
660
665
670
675
680
685
690
695
700
705
710
715
720
725
730
735
740
745
750
755
760
765
770
775
780
785
790
795
800
805
810
815
820
825
830
835
840
845
850
855
860
865
870
875
880
885
890
895
900
905
910
915
920
925
930
935
940
945
950
955
960
965
970
975
980
985
990
995
1000
1005
1010
1015
1020
1025
1030
1035
1040
1045
1050
1055
1060
1065
1070
1075
1080
1085
1090
1095
1100
1105
1110
1115
1120
1125
1130
1135
1140
1145
1150
1155
1160
1165
1170
1175
1180
1185
1190
1195
1200
1205
1210
1215
1220
1225
1230
1235
1240
1245
1250
1255
1260
1265
1270
1275
1280
1285
1290
1295
1300
1305
1310
1315
1320
1325
1330
1335
1340
1345
1350
1355
1360
1365
1370
1375
1380
1385
1390
1395
1400
1405
1410
1415
1420
1425
1430
1435
1440
1445
1450
1455
1460
1465
1470
1475
1480
1485
1490
1495
1500
1505
1510
1515
1520
1525
1530
1535
1540
1545
1550
1555
1560
1565
1570
1575
1580
1585
1590
1595
1600
1605
1610
1615
1620
1625
1630
1635
1640
1645
1650
1655
1660
1665
1670
1675
1680
1685
1690
1695
1700
1705
1710
1715
1720
1725
1730
1735
1740
1745
1750
1755
1760
1765
1770
1775
1780
1785
1790
1795
1800
1805
1810
1815
1820
1825
1830
1835
1840
1845
1850
1855
1860
1865
1870
1875
1880
1885
1890
1895
1900
1905
1910
1915
1920
1925
1930
1935
1940
1945
1950
1955
1960
1965
1970
1975
1980
1985
1990
1995
2000
2005
2010
2015
2020
2025
2030
2035
2040
2045
2050
2055
2060
2065
2070
2075
2080
2085
2090
2095
2100
2105
2110
2115
2120
2125
2130
2135
2140
2145
2150
2155
2160
2165
2170
2175
2180
2185
2190
2195
2200
2205
2210
2215
2220
2225
2230
2235
2240
2245
2250
2255
2260
2265
2270
2275
2280
2285
2290
2295
2300
2305
2310
2315
2320
2325
2330
2335
2340
2345
2350
2355
2360
2365
2370
2375
2380
2385
2390
2395
2400
2405
2410
2415
2420
2425
2430
2435
2440
2445
2450
2455
2460
2465
2470
2475
2480
2485
2490
2495
2500
2505
2510
2515
2520
2525
2530
2535
2540
2545
2550
2555
2560
2565
2570
2575
2580
2585
2590
2595
2600
2605
2610
2615
2620
2625
2630
2635
2640
2645
2650
2655
2660
2665
2670
2675
2680
2685
2690
2695
2700
2705
2710
2715
2720
2725
2730
2735
2740
2745
2750
2755
2760
2765
2770
2775
2780
2785
2790
2795
2800
2805
2810
2815
2820
2825
2830
2835
2840
2845
2850
2855
2860
2865
2870
2875
2880
2885
2890
2895
2900
2905
2910
2915
2920
2925
2930
2935
2940
2945
2950
2955
2960
2965
2970
2975
2980
2985
2990
2995
3000
3005
3010
3015
3020
3025
3030
3035
3040
3045
3050
3055
3060
3065
3070
3075
3080
3085
3090
3095
3100
3105
3110
3115
3120
3125
3130
3135
3140
3145
3150
3155
3160
3165
3170
3175
3180
3185
3190
3195
3200
3205
3210
3215
3220
3225
3230
3235
3240
3245
3250
3255
3260
3265
3270
3275
3280
3285
3290
3295
3300
3305
3310
3315
3320
3325
3330
3335
3340
3345
3350
3355
3360
3365
3370
3375
3380
3385
3390
3395
3400
3405
3410
3415
3420
3425
3430
3435
3440
3445
3450
3455
3460
3465
3470
3475
3480
3485
3490
3495
3500
3505
3510
3515
3520
3525
3530
3535
3540
3545
3550
3555
3560
3565
3570
3575
3580
3585
3590
3595
3600
3605
3610
3615
3620
3625
3630
3635
3640
3645
3650
3655
3660
3665
3670
3675
3680
3685
3690
3695
3700
3705
3710
3715
3720
3725
3730
3735
3740
3745
3750
3755
3760
3765
3770
3775
3780
3785
3790
3795
3800
3805
3810
3815
3820
3825
3830
3835
3840
3845
3850
3855
3860
3865
3870
3875
3880
3885
3890
3895
3900
3905
3910
3915
3920
3925
3930
3935
3940
3945
3950
3955
3960
3965
3970
3975
3980
3985
3990
3995
4000
4005
4010
4015
4020
4025
4030
4035
4040
4045
4050
4055
4060
4065
4070
4075
4080
4085
4090
4095
4100
4105
4110
4115
4120
4125
4130
4135
4140
4145
4150
4155
4160
4165
4170
4175
4180
4185
4190
4195
4200
4205
4210
4215
4220
4225
4230
4235
4240
4245
4250
4255
4260
4265
4270
4275
4280
4285
4290
4295
4300
4305
4310
4315
4320
4325
4330
4335
4340
4345
4350
4355
4360
4365
4370
4375
4380
4385
4390
4395
4400
4405
4410
4415
4420
4425
4430
4435
4440
4445
4450
4455
4460
4465
4470
4475
4480
4485
4490
4495
4500
4505
4510
4515
4520
4525
4530
4535
4540
4545
4550
4555
4560
4565
4570
4575
4580
4585
4590
4595
4600
4605
4610
4615
4620
4625
4630
4635
4640
4645
4650
4655
4660
4665
4670
4675
4680
4685
4690
4695
4700
4705
4710
4715
4720
4725
4730
4735
4740
4745
4750
4755
4760
4765
4770
4775
4780
4785
4790
4795
4800
4805
4810
4815
4820
4825
4830
4835
4840
4845
4850
4855
4860
4865
4870
4875
4880
4885
4890
4895
4900
4905
4910
4915
4920
4925
4930
4935
4940
4945
4950
4955
4960
4965
4970
4975
4980
4985
4990
4995
5000
5005
5010
5015
5020
5025
5030
5035
5040
5045
5050
5055
5060
5065
5070
5075
5080
5085
5090
5095
5100
5105
5110
5115
5120
5125
5130
5135
5140
5145
5150
5155
5160
5165
5170
5175
5180
5185
5190
5195
5200
5205
5210
5215
5220
5225
5230
5235
5240
5245
5250
5255
5260
5265
5270
5275
5280
5285
5290
5295
5300
5305
5310
5315
5320
5325
5330
5335
5340
5345
5350
5355
5360
5365
5370
5375
5380
5385
5390
5395
5400
5405
5410
5415
5420
5425
5430
5435
5440
5445
5450
5455
5460
5465
5470
5475
5480
5485
5490
5495
5500
5505
5510
5515
5520
5525
5530
5535
5540
5545
5550
5555
5560
5565
5570
5575
5580
5585
5590
5595
5600
5605
5610
5615
5620
5625
5630
5635
5640
5645
5650
5655
5660
5665
5670
5675
5680
5685
5690
5695
5700
5705
5710
5715
5720
5725
5730
5735
5740
5745
5750
5755
5760
5765
5770
5775
5780
5785
5790
5795
5800
5805
5810
5815
5820
5825
5830
5835
5840
5845
5850
5855
5860
5865
5870
5875
5880
5885
5890
5895
5900
5905
5910
5915
5920
5925
5930
5935
5940
5945
5950
5955
5960
5965
5970
5975
5980
5985
5990
5995
6000
6005
6010
6015
6020
6025
6030
6035
6040
6045
6050
6055
6060
6065
6070
6075
6080
6085
6090
6095
6100
6105
6110
6115
6120
6125
6130
6135
6140
6145
6150
6155
6160
6165
6170
6175
6180
6185
6190
6195
6200
6205
6210
6215
6220
6225
6230
6235
6240
6245
6250
6255
6260
6265
6270
6275
6280
6285
6290
6295
6300
6305
6310
6315
6320
6325
6330
6335
6340
6345
6350
6355
6360
6365
6370
6375
6380
6385
6390
6395
6400
6405
6410
6415
6420
6425
6430
6435
6440
6445
6450
6455
6460
6465
6470
6475
6480
6485
6490
6495
6500
6505
6510
6515
6520
6525
6530
6535
6540
6545
6550
6555
6560
6565
6570
6575
6580
6585
6590
6595
6600
6605
6610
6615
6620
6625
6630
6635
6640
6645
6650
6655
6660
6665
6670
6675
6680
6685
6690
6695
6700
6705
6710
6715
6720
6725
6730
6735
6740
6745
6750
6755
6760
6765
6770
6775
6780
6785
6790
6795
6800
6805
6810
6815
6820
6825
6830
6835
6840
6845
6850
6855
6860
6865
6870
6875
6880
6885
6890
6895
6900
6905
6910
6915
6920
6925
6930
6935
6940
6945
6950
6955
6960
6965
6970
6975
6980
6985
6990
6995
7000
7005
7010
7015
7020
7025
7030
7035
7040
7045
7050
7055
7060
7065
7070
7075
7080
7085
7090
7095
7100
7105
7110
7115
7120
7125
7130
7135
7140
7145
7150
7155
7160
7165
7170
7175
7180
7185
7190
7195
7200
7205
7210
7215
7220
7225
7230
7235
7240
7245
7250
7255
7260
7265
7270
7275
7280
7285
7290
7295
7300
7305
7310
7315
7320
7325
7330
7335
7340
7345
7350
7355
7360
7365
7370
7375
7380
7385
7390
7395
7400
7405
7410
7415
7420
7425
7430
7435
7440
7445
7450
7455
7460
7465
7470
7475
7480
7485
7490
7495
7500
7505
7510
7515
7520
7525
7530
7535
7540
7545
7550
7555
7560
7565
7570
7575
7580
7585
7590
7595
7600
7605
7610
7615
7620
7625
7630
7635
7640
7645
7650
7655
7660
7665
7670
7675
7680
7685
7690
7695
7700
7705
7710
7715
7720
7725
7730
7735
7740
7745
7750
7755
7760
7765
7770
7775
7780
7785
7790
7795
7800
7805
7810
7815
7820
7825
7830
7835
7840
7845
7850
7855
7860
7865
7870
7875
7880
7885
7890
7895
7900
7905
7910
7915
7920
7925
7930
7935
7940
7945
7950
7955
7960
7965
7970
7975
7980
7985
7990
7995
8000
8005
8010
8015
8020
8025
8030
8035
8040
8045
8050
8055
8060
8065
8070
8075
8080
8085
8090
8095
8100
8105
8110
8115
8120
8125
8130
8135
8140
8145
8150
8155
8160
8165
8170
8175
8180
8185
8190
8195
8200
8205
8210
8215
8220
8225
8230
8235
8240
8245
8250
8255
8260
8265
8270
8275
8280
8285
8290
8295
8300
8305
8310
8315
8320
8325
8330
8335
8340
8345
8350
8355
8360
8365
8370
8375
8380
8385
8390
8395
8400
8405
8410
8415
8420
8425
8430
8435
8440
8445
8450
8455
8460
8465
8470
8475
8480
8485
8490
8495
8500
8505
8510
8515
8520
8525
8530
8535
8540
8545
8550
8555
8560
8565
8570
8575
8580
8585
8590
8595
8600
8605
8610
8615
8620
8625
8630
8635
8640
8645
8650
8655
8660
8665
8670
8675
8680
8685
8690
8695
8700
8705
8710
8715
8720
8725
8730
8735
8740
8745
8750
8755
8760
8765
8770
8775
8780
8785
8790
8795
8800
8805
8810
8815
8820
8825
8830
8835
8840
8845
8850
8855
8860
8865
8870
8875
8880
8885
8890
8895
8900
8905
8910
8915
8920
8925
8930
8935
8940
8945
8950
8955
8960
8965
8970
8975
8980
8985
8990
8995
9000
9005
9010
9015
9020
9025
9030
9035
9040
9045
9050
9055
9060
9065
9070
9075
9080
9085
9090
9095
9100
9105
9110
9115
9120
9125
9130
9135
9140
9145
9150
9155
9160
9165
9170
9175
9180
9185
9190
9195
9200
9205
9210
9215
9220
9225
9230
9235
9240
9245
9250
9255
9260
9265
9270
9275
9280
9285
9290
9295
9300
9305
9310
9315
9320
9325
9330
9335
9340
9345
9350
9355
9360
9365
9370
9375
9380
9385
9390
9395
9400
9405
9410
9415
9420
9425
9430
9435
9440
9445
9450
9455
9460
9465
9470
9475
9480
9485
9490
9495
9500
9505
9510
9515
9520
9525
9530
9535
9540
9545
9550
9555
9560
9565
9570
9575
9580
9585
9590
9595
9600
9605
9610
9615
9620
9625
9630
9635
9640
9645
9650
9655
9660
9665
9670
9675
9680
9685
9690
9695
9700
9705
9710
9715
9720
9725
9730
9735
9740
9745
9750
9755
9760
9765
9770
9775
9780
9785
9790
9795
9800
9805
9810
9815
9820
9825
9830
9835
9840
9845
9850
9855
9860
9865
9870
9875
9880
9885
9890
9895
9900
9905
9910
9915
9920
9925
9930
9935
9940
9945
9950
9955
9960
9965
9970
9975
9980
9985
9990
9995
10000
10005
10010
10015
10020
10025
10030
10035
10040
10045
10050
10055
10060
10065
10070
10075
10080
10085
10090
10095
10100
10105
10110
10115
10120
10125
10130
10135
10140
10145
10150
10155
10160
10165
1

weist.

9. Rotor nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass der besonders kriechfeste Werkstoff eine Nickelbasislegierung ist.

10. Verfahren zum Herstellen eines Rotors nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Übergangsbereich (13, 21, 22) aus einem Metallpulver entsprechender Zusammensetzung durch isostatisches Heißpressen (HIP) erzeugt wird. 5

11: Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass der Übergangsbereich eine Schicht (21) aus einem dem zweiten Rotorabschnitt (11) entsprechenden, weniger kriechfesten Werkstoff, insbesondere Stahl, ist, und dass die Schicht (21) und der erste Rotorabschnitt (12) gemeinsam pulvermetallurgisch hergestellt werden. 10 15

12. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass der Übergangsbereich eine Schicht (21) aus einem dem zweiten Rotorabschnitt (11) entsprechenden, weniger kriechfesten Werkstoff, insbesondere Stahl, ist, und dass die Schicht (21) auf den ersten Rotorabschnitt (12) pulvermetallurgisch aufgebracht wird. 20

13. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass der Übergangsbereich eine Schicht (22) aus einem dem ersten Rotorabschnitt (12) entsprechenden, besonders kriechfesten Werkstoff, insbesondere aus einer Nickelbasislegierung, ist, und dass die Schicht (22) und der zweite Rotorabschnitt (11) gemeinsam pulvermetallurgisch hergestellt werden. 25 30

14. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass der Übergangsbereich eine Schicht (22) aus einem dem ersten Rotorabschnitt (12) entsprechenden, besonders kriechfesten Werkstoff, insbesondere aus einer Nickelbasislegierung, ist, und dass die Schicht (22) auf den zweiten Rotorabschnitt (11) pulvermetallurgisch aufgebracht wird. 35

15. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass zur Bildung des Übergangsbereiches zunächst pulvermetallurgisch ein separates Übergangsstück (13) hergestellt wird, welches eine ortsabhängige Zusammensetzung aufweist, derart, dass die Zusammensetzung auf der dem ersten Rotorabschnitt (12) zugewandten Seite der Zusammensetzung des ersten Rotorabschnitts (12) und auf der dem zweiten Rotorabschnitt (11) zugewandten Seite der Zusammensetzung des zweiten Rotorabschnitts (11) entspricht, und dass das Übergangsstück anschliessend mit den beiden Rotorabschnitten (11, 12) verschweisst wird. 40 45

16. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass das Übergangsstück (13) zunächst mit dem ersten Rotorabschnitt (12) verschweisst wird, und dass die zugehörige Schweissnaht (15) vor dem Verschweissen des Übergangsstückes (13) mit dem zweiten Rotorabschnitt (11) zerstörungsfrei, insbesondere mittels Röntgenstrahlen, geprüft wird. 50 55

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

60

65

- Leerseite -

